

Интеллектуальная поддержка принятия решений при ведении пациентов с ишемией нижних конечностей на основе гибридных нечетких моделей

Аннотация

Рассматриваются математические модели прогнозирования возникновения и течения ишемических поражений нижних конечностей, диагностики стадий этого класса заболеваний и выбора рациональных схем профилактики и лечения на основе использования гибридных нечетких математических моделей, ориентированных на применение в базах знаний интеллектуальных систем поддержки принятия решений сосудистых хирургов и ангиологов.

Введение

Одной из важных задач ведения пациентов с ишемическим поражением нижних конечностей является своевременное выявление отрицательных тенденций в развитии заболевания с проведением адекватных профилактических и лечебных мероприятий [1], [2]. Особенно актуальной эта задача является при лечении пациентов с критической ишемией нижних конечностей (КИНК).

Одной из проблем, связанных с ведением ишемических больных, является частое сочетание сосудистых поражений различных органов, включая головной мозг, сердце и нижние конечности.

Основой взаимодействия ишемизированных органов являются процессы ишемического прекодиционирования, или кратковременной гипоксии тканей, которые характеризуют защитную реакцию органов [сердце (С), головной мозг (ГМ), нижние конечности (НК)] в ответ на повторное ишемическое воздействие.

При этом современные подходы к анализу состояния ишемизированных больных основываются на представлении о краткосрочных воздействиях различного вида: нейрогенных, фармакологических, физических и т. д. [1], [2].

В то же время наши наблюдения показывают, что патологические состояния сердца и сосудов, включая сосуды головного мозга и нижних конечностей, сосуществуют длительно, приобретая хроническую взаимоотношающую связь. При этом нарушения региональной гемодинамики определяют центральную гемодинамику, а изменения последней усугубляют состояние органов [2].

Такое течение хронических ишемических процессов требует разработки адекватного системно обоснованного подхода к ведению пациентов с ишемическим поражением нижних конечностей, основывающегося на использовании современных математических методов с применением информационных и интеллектуальных технологий.

Модели и методы

Результаты, предлагаемые в данной статье, основываются на шестилетнем (с 2011 года) наблюдении за 400 больными с хроническими облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей, у части которых имелись сочетания ишемического поражения центральной гемодинамической системы, сердца и головного мозга. Пациенты имели различные стадии заболевания, вплоть до критической ишемии, требующей ампутации нижних конечностей.

Исследования в виде разведочного анализа проводились с использованием традиционных статистических методов, реализуемых программой STATISTICA 6.0 фирмы «StatSoft Russia» (Россия), с привлечением методов теории измерения латентных переменных [3], алгоритмов метода группового учета аргументов [4], модификаций методов разведочного анализа, ориентированного на синтез гибридных нечетких решающих правил [5]-[7].

В ходе проведенных исследований был определен набор задач, которые надо решать для построения системы поддержки принятия решений врачей, ведущих пациентов с ишемией нижних конечностей. В состав прогностических задач вошли: прогнозирование динамики развития КИНК; прогнозирование риска развития гангрены нижних конечностей UO ; обратимость ишемического процесса OI ; прогнозирование течения хронической ишемии нижних конечностей и оценки степени ее тяжести ST ; прогнозирование исхода ишемии нижних конечностей по показателям UO , KV , OI ; прогнозирование исхода ишемии нижних конечностей с учетом степени декомпенсации системы «сердце-головной мозг» (С-ГМ); оценка коэффициента вариабельности KV .

В состав диагностических классификационных задач вошли: оценка степени тяжести ишемического поражения центральной гемодинамической системы (ЦГС) $ST_{ц}$; оценка степени тяжести ишемического поражения нижних конечностей (НК) $ST_{к}$; оценка степени тяжести ишемического поражения сердца (С) $ST_{с}$; оценка степени тяжести ишемического поражения головного мозга (ГМ) $ST_{м}$; аппаратная оценка кровоснабжения стопы ноги по данным фотоплетизмограммы; комплексная оценка степени тяжести ишемического процесса организма с учетом ЦГС, НК, С, ГМ; оценка степени тяжести ишемических процессов с учетом системных взаимосвязей центральной и региональной гемодинамики; оценка степени декомпенсации региональной гемодинамики большого круга кровообращения.

При выборе схем профилактики и лечения решались следующие задачи: выбор базовых схем лечения, коррекция схем профилактики и лечения.

Все перечисленные выше задачи решаются с использованием разнородного (гетерогенного) признакового пространства, формируемого в результате опросов и осмотров (качество жизни, болевые ощущения в статике и динамике, образ жизни и т. д.); инструментальных исследований (доплеровские ультразвуковые исследования, электрокардиография, реография и др.); лабораторных исследований (гемостазиограмма, общий анализ крови и т. д.).

Проведенный разведочный анализ показал, что прогнозируемое развитие заболевания и выделяемые классы состояний пациентов с ишемическими поражениями не поддаются достаточно точному аналитическому описанию, не имеют четко выраженных границ, а зоны их пересечения клинически четко не определяются. В этих условиях целесообразно использовать технологию мягких вычислений и, в частности, теорию нечеткой логики принятия решений [4], [8], [9].

Учитывая большой положительный опыт кафедры БМИ ЮЗГУ в решении задач аналогичного класса, в качестве базового математического аппарата был выбран метод синтеза гибридных нечетких решающих правил в гетерогенном пространстве признаков [5]-[7].

В соответствии с общими рекомендациями этого метода задачи прогнозирования решаются как задачи нечеткой классификации отнесения (перехода) объекта к одному (в один) из возможных классов состояний через выбранное время (T_0),

через выбранные интервалы времени (T_i). Задачи нечеткой классификации решаются в их классической трактовке [5]-[7].

Синтез прогностических и диагностических решающих правил для выбранного класса задач в соответствии с рекомендациями [5]-[7], [9] осуществляется с использованием следующих основных этапов.

1. Выбранные (сформированные по рекомендациям квалиметрии) экспертной группой признаки оценивают по информативности с использованием теории измерения латентных переменных (пакет RUMM 2020, «RUMM Laboratory», Австралия).

2. Используя выбранные признаки как базовые переменные, определяют функции степени выраженности $f_{\omega_i}(x_i)$ исследуемой характеристики ω_i или функции принадлежности к предельным (наиболее критическим, тяжелым и др.) состояниям $\mu_{\omega_i}(x_i)$.

3. На основании информации о структуре данных выбирают агрегирующую нечеткую модель (комплексная нечеткая переменная), характеризующую степень выраженности исследуемого состояния

$$SV_r = F_r[\mu_{\omega_i}, f_{\omega_i}(x_i)]. \quad (1)$$

4. На нечетких шкалах SV_r определяют функции принадлежности μ_{ω_i} к искомым классам состояний $\mu_{\omega_i}(SV_r)$. Решение о прогнозе, степени тяжести, классе состояний и т. д. принимают по максимальным значениям функций принадлежности, т. е.

$$R_{\omega_i} = \max_i[\mu_{\omega_i}(SV_r)]. \quad (2)$$

5. По выбранным классам состояний разрабатывают алгоритмы выбора базовых схем лечения

$$S_q = F_{q_i}(R_{\omega_i}), \quad (3)$$

которые уточняют с использованием теории измерения латентных переменных.

6. Синтезируют правила коррекции схем лечения в зависимости от текущих значений SV_r скорости их изменения V_r и текущего класса состояний R_{ω_i} :

$$kS_q = F_{kq_i}(SV_r, V_r, R_{\omega_i}). \quad (4)$$

Примеры и техническая реализация

К сожалению, все полученные решающие правила, приведенные в табл. 1, в силу ограничений на объем публикации привести не представляется возможным.

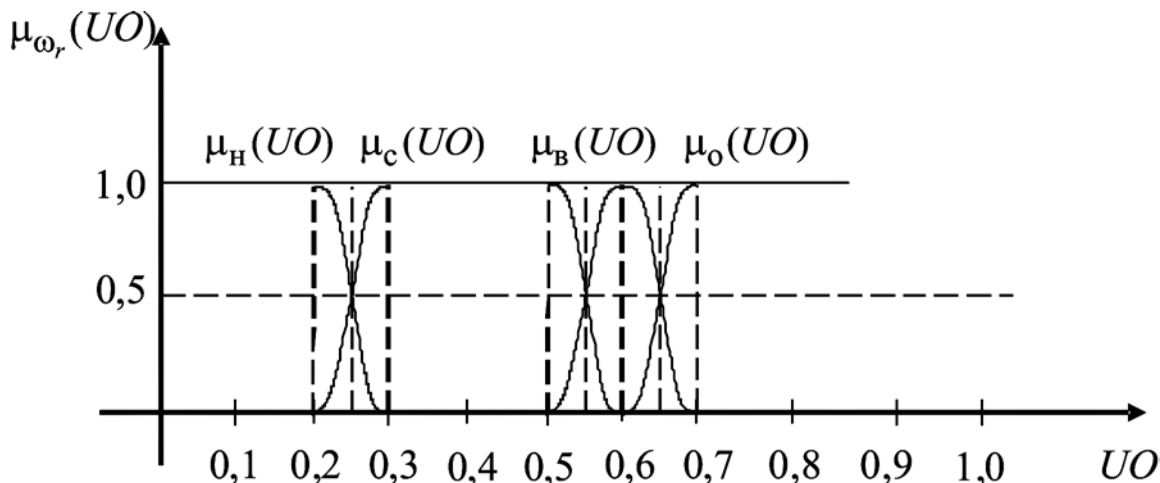


Рис. 1. Графики функций принадлежности, классифицирующих уровни уверенности в развитии гангрены

В качестве конкретного примера рассмотрим математическую модель для прогнозирования риска развития гангрены с алгоритмом формирования рекомендуемых схем лечения.

После оценки информативности пакетом RUMM 2020 был сформирован следующий список исходных признаков: X_1 – критерий качества жизни; X_2 – лодыжечно-плечевой индекс; X_3 – реографический индекс; X_4 – температура тела; X_5 – частота сердечных сокращений; X_6 – систолическое артериальное давление; X_7 – наличие аритмии; X_8 – интегральный показатель, составленный по данным лабораторных исследований (СОЭ, лейкоцитоз, тромбоз, наличие анемии).

Используя общие рекомендации по выбору формы и параметров функции принадлежности, описанные в работах [6], [7], с участием экспертов по технологии Дэлфи определяют функции принадлежности $\mu_{\omega_i}(X_i)$ к классу «очень высокий риск гангрены нижних конечностей» (класс ω_1) с базовыми переменными (информативными признаками) x_i .

С учетом того, что каждый из введенных показателей (базовая переменная для соответствующей функции принадлежности) увеличивает уверенность в том, что у обследуемого разовьется гангрена нижних конечностей, базовая прогностическая модель, согласно рекомендациям [5]-[7], описывается итерационной формулой вида

$$UO(q+1) = UO(q) + \mu_{\omega_i}(x_{i+1})[1 - UO(q)], \quad (5)$$

где q – номер итерации; $UO(1) = \mu_{\omega_i}(x_i)$.

На шкале UO эксперты выделили четыре уровня уверенности в развитии гангрены:

- I – низкая уверенность в развитии гангрены (класс ω_H);
- II – средняя уверенность в развитии гангрены (класс ω_C);
- III – высокая уверенность в развитии гангрены (класс ω_B);
- IV – очень высокая уверенность в развитии гангрены (класс ω_O).

Каждый из уровней уверенности описывается функцией принадлежности к «своему» уровню уверенности: $\mu_H(UO)$, $\mu_C(UO)$, $\mu_B(UO)$, $\mu_O(UO)$ (рис. 1).

Решение о классификации принимается по величине максимального значения $\mu_{\omega_i}(UO)$, т. е.

$$UO_r = \max[\mu_H(UO), \mu_C(UO), \mu_B(UO), \mu_O(UO)]. \quad (6)$$

Результаты математического моделирования показывают, что прогностическая уверенность в правильном принятии решения превышает 0,9, что является хорошим результатом для исследуемого класса задач.

Используя общие рекомендации по синтезу гибридных нечетких решающих правил, с учетом границ разделения клас-

сов ω , (рис. 1) на экспертном уровне были определены схемы лечения для выделенных диапазонов УО (табл. 1).

Сравнение эффективности результатов традиционных схем лечения со схемой, реализуемой в соответствии с предложенным алгоритмом (по табл. 1), показало, что скорость достижения положительных результатов увеличивается в 3,4 раза (на 68,3 %), уменьшая риск развития гангрены нижних конечностей в 2,8 раза (на 61,6 %), а риск ампутации конечностей снижается в 4,1 раза (на 68,1 %).

Задачи, реализуемые системой нечетких гибридных моделей, могут быть решены с использованием универсальной оболочки экспертной системы (ЭС), разработанной на кафедре БМИ ЮЗГУ [6], [7].

Разработанное математическое и программное обеспечение может быть реализовано не только с использованием достаточно мощных ПЭВМ, но и как приложения для смартфонов и планшетных компьютеров, что значительно расширяет возможности врачей – сосудистых хирургов и ангиологов.

Список литературы:

1. Mamdani E.H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis whis a fuzzy logic controller // International Journal of Man-Machine Studies. 1975. № 7. PP. 1-13.
2. Zadeh L.A. Advances in Fuzzy Mathematics and Engineering Fuzzy Sets and Fuzzy Information – Granulation Theory. – Beijing: Beijing Normal University-Press, 2005.
3. Быков А.В., Корневский Н.А., Емельянов С.Г. Прогнозирование степени тяжести развития ишемического процесса в сердце, головном мозге и нижних конечностях на основе нечетких моделей // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. № 9. С. 4-9.
4. Корневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. № 1. С. 33-35.
5. Корневский Н.А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. № 2. С. 99-103.

6. Корневский Н.А., Артеменко М.В., Провоторов В.Я., Навикова Л.А. Метод синтеза нечетких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2014. Т. 13. № 4. С. 881-886.
7. Корневский Н.А., Шуткин А.Н., Бойцова Е.А., Дмитриева В.В. Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей Г. Раша // Медицинская техника. 2015. № 6. С. 37-40.
8. Корневский Н.А., Шуткин А.Н., Горбатенко С.А., Серебровский В.И. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий. Монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2016. 472 с.
9. Савельев В.С., Кошкин В.М., Каралкин А.В. Патогенез и консервативное лечение тяжелых стадий облитерирующего атеросклероза артерий нижних конечностей / Руководство для врачей. – М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2010. 216 с.

Александр Владимирович Быков,
канд. мед. наук, сердечно-сосудистый хирург,
БМУ «Курская областная клиническая больница»,
Александр Александрович Бурмака,
д-р техн. наук, профессор,
Софья Николаевна Корневская,
аспирант,
Дмитрий Сергеевич Родионов,
аспирант,
кафедра биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск,
e-mail: knsofia@mail.ru

Таблица 1

Алгоритм выбора схем лечения

Уверенность в развитии гангрены (диапазон УО)	Схемы лечения
< 0,25 (класс ω_n , низкая уверенность)	Физ. р-р 200,0 + 5,0 в/в.к. Трентала Физ. р-р 200,0 + 2,0 Сулодексида
0,25...0,55 (класс ω_c , средняя уверенность)	Физ. р-р 200,0 + 1 г Неотона Физ. р-р 200,0 + 4,0 Сулодексида
0,55...0,65 (класс ω_b , высокая уверенность)	0,6 мл п/к – низкомолекулярные гепарины (НМГ), Фраксипарин Физ. р-р 200,0 + 1 г в/в.к. Неотона Физ. р-р 200,0 + 100 мкг Алипростана
> 0,651 (класс ω_o , очень высокая уверенность)	0,6 мл п/к – низкомолекулярные гепарины (НМГ), Фраксипарин Физ. р-р 200,0 + 100 мкг Алипростана 6 % – 500,0 в/в.к. Рефортана Физ. р-р 200,0 + 800 мг Актовегина

* * * * *